

東日本大震災特集論文

## 地盤沈下と津波により誕生した塩性湿地における 海藻・海草上の小型甲殻類群集

三簾仁志<sup>1,3</sup>・横山 寿<sup>2</sup>・山下 洋<sup>2</sup>

### Small crustacean community on seaweed and seagrass in a wetland created by a land subsidence and tsunami

Hitoshi Misui, Hisashi Yokoyama, Yoh Yamashita

(2016年3月23日受付, 2016年10月9日受理, 2017年7月21日早期公開)

<sup>1</sup> 京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻里海生態保全学分野

<sup>2</sup> 京都大学フィールド科学教育研究センター

<sup>3</sup> 現所属: 株式会社 長大

連絡先: 三簾仁志, 株式会社 長大

〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1

E-mail: misui-h@chodai.co.jp

#### 要旨

東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下と津波により、宮城県気仙沼市舞根に塩性湿地が誕生した。湿地では海藻・海草が着生し、そこに小型甲殻類が集まり、魚類が来遊するようになった。舞根の住民は、本湿地を震災の記録として残すとともに、地域における環境教育の場とすることを検討している。本研究では、湿地の保全と環境教育実施に向けて、海藻・海草と小型甲殻類の生態学的な関係を中心に、湿地の生態系機能を調査した。

湿地内の海藻と小型甲殻類の生物量との間には正の相関が認められた。小型甲殻類と海藻類との関係を調べるために、炭素・窒素安定同位体比分析と海藻上の食痕の確認を行った。その結果、小型甲殻類は海藻を重要な餌料とせず、主に生息場所として利用することがわかった。また、小型甲殻類は魚類に摂餌されていた。以上より、魚類の餌となる小型甲殻類に生息場を提供する海藻が、水産有用魚類の成育・索餌場として機能し、湿地保全がこのような生物生産の仕組みを教える環境教育の場として有用であると結論した。

#### Abstract

The 2011 Off the Coast of Tohoku Earthquake caused a land subsidence and was followed by a large tsunami. At Moune area in Kesenuma (Miyagi prefecture) the water has submerged the land lying fallow which became a wetland. Seaweed and seagrass have taken root, small crustaceans have settled and fishes have immigrated into the wetland. The aims of this study was to elucidate the ecological function of wetland focusing on seagrass and seaweed meadows in the wetland ecosystem, to contribute to the preservation of the wetland as memory of The 2011 Off the Coast of Tohoku Earthquake and to create environmental education opportunities. To reach these aims, seasonal biomass variations of seaweed, sea grass and small crustaceans were investigated, and relationships between these organisms were studied using stable isotope analysis and field observations.

There is positive correlation between the biomass of small crustaceans and the biomass of seaweed. Stable isotope analysis and field observations suggest that seaweeds are not the main food source of small crustaceans but they offer habitats for small crustaceans. Fishes consume small crustaceans; therefore, seaweed providing fishes with food might contribute to an increase in their abundance and diversity, thus having a direct positive impact on local fisheries activities. The preservation of the wetland might also contribute to environmental education (i.e. field work experience).

#### 1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震により、宮城県気仙沼市では地盤が74 cm沈下した。気仙沼市舞

根地区(以下、舞根)の休耕田や宅地であった土地にも、地盤沈下とともに津波により海水が流入し、大小3ヵ所の塩性湿地(合計面積19,100 m<sup>2</sup>)が誕生した。

震災後の干潟における底生生物相の調査はいくつかの

場所で行われており（金谷ら2012, 国立公園協会2012）、舞根においても2011年5月に気仙沼舞根湾調査チームが結成され、2ヵ月に一度の調査が継続して実施されている（田中2012）。

湿地誕生数ヵ月後には海藻・海草が侵入し、海藻・海草群落とともに小型甲殻類群集が形成され、魚類が来遊するようになった。一般的に海藻・海草群落（山本ら1999）や、スポンジやブラシなどの人工物、牡蠣殻など（Akins and Kikuchi 2001）は小型甲殻類に生息基質を提供する。さらに、小型甲殻類は魚類の餌料となることから、一次生産者と水産生物をつなぐ重要な位置を占めることが知られている（Huh and Kitting 1985）。海藻・海草藻場は、小型甲殻類に繁殖や摂餌場（Akins and Kikuchi 2001）および棲管の付着基質（Kevrekidis 2004）を提供するだけでなく、魚介類の産卵場所や幼仔稚魚等の生息場所となり、漁業資源の増殖に大きな役割を果たす（水産庁2015）。しかしわが国では、面積が0.01 km<sup>2</sup>以上で水深が20 m以浅にある藻場は、埋め立てや浚渫、干拓などにより1978年から1992年にかけて64 km<sup>2</sup>が失われた（土井2000）。

一方、東北各地で地盤沈下後の土地利用が課題となっている。本湿地の一部を所有するNPO法人「森は海の恋人」は湿地を震災の記録として保全し、湿地生態系の仕組みを子供たちに教えるための環境教育の場として利用することを検討しており、そのための生態学的知見の収集と整理が求められている。

本研究では、本湿地における藻場の機能の解明と、震災遺構としての湿地保全方策の検討および環境教育実施に向けた知見の収集・整理を目的とし、生物群集とその生息環境の季節変化を把握するとともに、海藻・海草と小型甲殻類および魚類との関係を、生物量の季節変化、海藻・海草に付着した棲管の観察、安定同位体比を用いた栄養構造解析などにより明らかにした。

## 2. 材料と方法

### 2.1 調査地の概要

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下により誕生した大小3ヵ所の塩性湿地のうち、本研究では西舞根川の東側に位置する面積9,000 m<sup>2</sup>の湿地を対象とした（Fig. 1）。本湿地では、潮の干満に伴い西舞根川との間の人工河岸に設けられた導水管を通じて海水が交換する。東京湾平均海面0 m以下の部分は海水が常

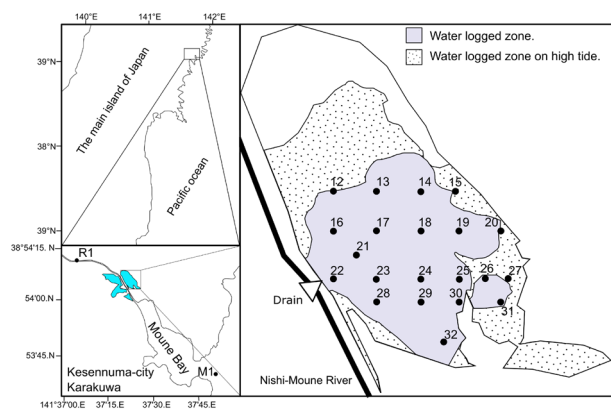


Fig. 1. Map of the study area. Numbers show sampling stations.

時滞留する潟であり、その周囲（0~0.4 m）の部分は導水管を通じて潮の干満に伴い海水が出入りする干潟となっている。

本湿地にはオゴノリ *Gracilaria vermiculophyll*, ゴノメグサ *Centroceras distichum*, コアマモ *Zostera japonica* がそれぞれ群落を形成していた。

### 2.2 調査および解析方法

本湿地において、2014年5月9~11日、7月16~17日、9月24~26日、11月17~18日、2015年1月17~18日、3月23~24日の計6回、調査を行った。海水が常時滞留する水域に、原則として20 m間隔で21地点を設置し（Fig. 1）、水質測定と生物採集を行った。

水質環境を把握するため、各地点（2014年5月は11地点、7月と9月は20地点、11月以降は21地点）において、直読式多項目水質計（AAQ-Rinko, JFEアドバンテック社製）を用いて水温と塩分を測定した。

各月とも約20定点（2014年5月は16地点、7月は19地点、2015年3月は21地点）において、採集面積0.04 m<sup>2</sup>のかぶせ網式採集器具を用いて小型甲殻類と海藻・海草を採集した。本採集器具は、目合1 mmで開口部の円周が80 cmの円錐型プランクトンネットを20×20 cmの方形枠（ステンレス製）にロープで固定し、四隅から蝶番状にフレームを渡して、ここを支点に開閉可能にしたものである（Fig. 2）。これを海草・海藻と表層1 cmの堆積物にかぶせ、開口部を閉じて採集した。海草の根は、適宜はさみによって切断した。海藻・海草が繁茂しない地点（「裸地」と称する）では、表層1 cmの堆積物のみを採集した。これを1 mm目合いの篩にかけ、篩上に残った生物を10%海水ホルマリンにより固定した。本研究では、湿重量が1 mg未満の小型マクロベントスの範疇に入る小型甲殻類を分析の対象としたが、アミ目、タナイス目、等脚目、端脚目、クマ目以外の甲殻類は湿重量1 mg以上のスジエビ類を除いて出現しなかったことから、これら5目について可能な限り種まで同定し種ごとに湿重量を測定した。また、同時に採集された海藻・海草についても種を同定し、湿重量を計量した。小型甲殻類と海藻・海草の湿重量を単位面積当たりに換算し、これを生物量（g m<sup>-2</sup>）とした。

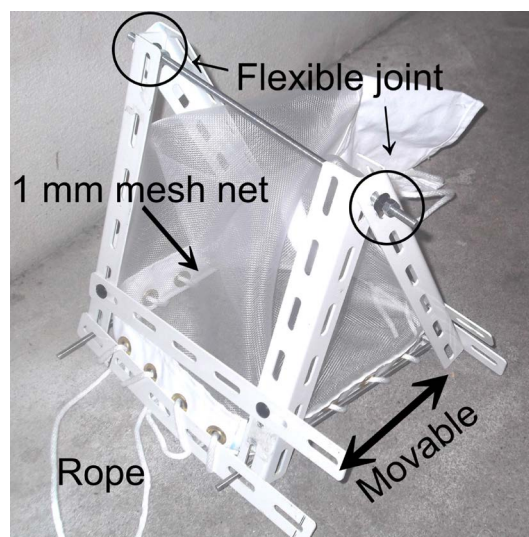


Fig. 2. Photograph of the cover net.

各地点で採集した試料に海藻・海草が1種含まれるか、まったく海藻・海草が採集されなかった試料(生息場所として、それぞれ、オゴノリ群落、ゴノメグサ群落、コアマモ群落、裸地とする)について、調査期間中に採集された海藻・海草の生物量と全小型甲殻類の生物量、および海藻・海草各種の生物量と小型甲殻類各種の生物量の相関性についてピアソンの積率相関係数により検討した。海藻・海草が二種以上採集された地点は、小型甲殻類がどこに生息していたかが不明なため分析から除いた。

### 2.3 海藻・海草上の食痕および棲管の確認

海藻・海草の採集時にこれらの小型甲殻類の行動とともに葉体上に動物による食痕があるかどうかを調査期間を通じて観察した。2015年1月に湿地内で海藻・海草に棲管が付着しているかを確認し、棲管が確認されたものについては現地においてピンセットで棲管を切り開き、営巣を確認した。営巣している小型甲殻類を10%海水ホルマリンで固定し、実験室において同定した。

### 2.4 炭素・窒素安定同位体比分析と消化管内容物分析

小型甲殻類の食物源と、湿地を利用する魚類の餌料生物を推定するため、炭素・窒素安定同位体比分析用の試料を採集した。小型甲殻類はかぶせ網式採集器具により、魚類はタモ網、小型曳網あるいは刺網を用いて採集した。小型甲殻類の食物源となりうる有機物として陸起源有機物、海洋性植物プランクトン(mPOM: marine particulate organic matter)、堆積物上の底生微細藻類(BMA: benthic microalgae)、ゴノメグサおよびオゴノリがあげられる。また、陸起源有機物として堆積物中の陸上植物残渣(TOD: terrestrial organic debris)、堆積物中有機物(SOD: sediment organic debris)、および河川水中の懸濁物(rPOM: riverine POM)を採集した。

小型甲殻類は採集後、冷凍保存し、原則として体全体と筋肉の二種類の試料を作成した。体全体の試料は1.2NのHClに気泡が出なくなるまで浸し、蒸留水で洗浄した。筋肉試料は実体顕微鏡下で筋肉のみ取り出した。ただし、解剖が困難であったトンガリドロクダムシとシネロプス属の一種については、体全体の試料のみを作成した。ゴノメグサ、オゴノリおよび魚類試料は冷凍保存し、海藻は全体を魚類では筋肉を試料とした。試料は恒温乾燥機により、60°Cで恒量になるまで乾燥させ、乳鉢で粉末にし、錫箔に包んだ。TODは湿地内の小型甲殻類採集地点において、篩上残存物より直接採集し、SODは表層1cmの堆積物をコアサンプラーで採集し、酸処理と乾燥の後、測定試料とした。rPOM分析用の河

川水は西舞根川中流部の地点R1 (Fig. 1)の表層水を、mPOM分析用の海洋水は舞根湾内の地点M1 (Fig. 1)の水深5mからバンドン採水器により採水し、GFFガラスファイバーフィルター上に懸濁物を捕集した。mPOMについては、フィルターをHCl蒸気中に約6時間さらし、炭酸カルシウムを分解後、乾燥させた。BMAについてはYokoyama and Ishihi (2003)に示された方法に従い、採集、分析したが、十分な有機物量が得られず、信頼性のある同位体比値を得ることができなかった。そこで、本湿地において得られたBMA値(熊谷洋一郎未発表データ)、および本湿地において採集されたBMAを主食とするホソウミナ *Batillaria attramentaria*の同位体比の値(熊谷洋一郎未発表データ)からの推定値(濃縮係数、 $\delta^{13}\text{C}=1.0\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}=3.4\%$ を減じた値)を、本湿地における底生微細藻類の値とした(それぞれTable 5のBMA1, BMA2参照)。

安定同位体比の分析は、京大大学生態学研究センターの元素分析計(EA Flash 2000)と質量分析計(DELTA V Advantage)を連結させたシステムにより行い、動物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ と $^{13}\text{C}\cdot^{15}\text{N}$ 濃縮係数一般値(それぞれ、1.0‰、3.4‰: Deniro and Epstein 1978, Zanden and Rasmussen 1999)により、餌料の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を推定した。

本湿地の小型甲殻類が魚類に摂餌されているかどうかを明らかにするため、安定同位体比分析に用いた魚類の消化管を現地で採集直後に切り取って10%海水ホルマリンで固定し、実験室に持ち帰った。消化管を実体顕微

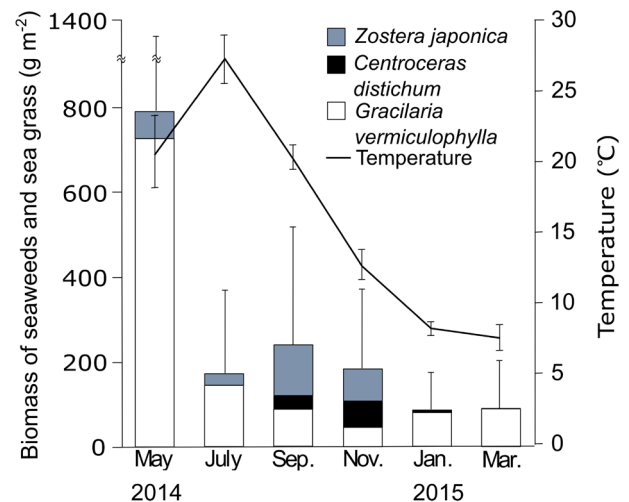


Fig. 3. Seasonal fluctuations of water temperature, biomass of seaweeds and sea grass in the Moune wetland during the period from May 2014 to March 2015. Error bars are standard deviation.

Table 1. Environmental parameter and the biomass (mean±SD, g m<sup>-2</sup>) of seaweeds and sea grass in the Moune wetland during the period from May 2014 to March 2015.

	May 2014	Jul	Sep	Nov	Jan 2015	Mar
Environmental parameter						
Temperature (°C)	20.7±2.5	27.3±1.7	20.4±0.9	12.7±1.1	8.2±0.5	7.6±0.9
Salinity	18.9±5.2	13.7±8.6	21.9±4.7	18.3±6.1	25.7±2.9	23.1±1.7
Biomass of seaweeds and sea grass (g m <sup>-2</sup> )						
<i>G. vermiculophylla</i>	727±590	146±166	88±182	45±61	77±92	89±117
<i>C. distichum</i>	0	0	30±76	60±111	5±16	1±3
<i>Z. japonica</i>	62±148	30±88	121±268	78±188	3±13	0

鏡下で切り開き、実体顕微鏡および光学顕微鏡下で内容を観察した。

### 3. 結果

#### 3.1 水温と塩分

水温を Table 1, Fig. 3 に、塩分を Table 1 に示した。水温は2014年5月から7月にかけて上昇し、7月にもっとも高く、その後低下し、翌年3月まで低下した。塩分は、潮汐の影響を受けて最低値0.3 (2014年7月 St. 16) から最高値31.3 (2014年9月 St. 32) の間で大きく変化した。

#### 3.2 海藻・海草の組成・生物量の季節変化

湿地内においてジュズモ属の一種 *Chaetomorpha* sp., ミル *Codium fragile*, ホンダワラ属の一種 *Sargassum* sp., オゴノリ, ゴノメグサの海藻5種, コアマモの海草1種が採集された (Table 1)。このうち、オゴノリ, ゴノメグサおよびコアマモは群落を形成し、ホンダワラ属の一種, ミル, ジュズモ属の一種の3種は群落を形成せず湿地内に点在していたため、小型甲殻類との関係の解析にはオゴノリ, ゴノメグサ, コアマモについて行った。

各調査時の海藻・海草の生物量を Table 1, Fig. 3 に示した。オゴノリは2014年5月から7月, 2015年1月から3月にかけて他の海藻・海草よりも優占した。その生物量は2014年5月にもっとも多く7月にかけて急減し、11月にもっとも少なかった。その後2015年3月まで増加傾

向を示した。ゴノメグサは9月以降に確認され、11月に最大となりオゴノリの生物量を上回った。2015年1月以降は減少傾向を示し、3月に最少となった。コアマモは2014年5月から7月にかけて減少した後に増加し、9月に海藻・海草の中でもっとも生物量が多くなった。その後1月には減少し3月には確認されなかった。ジュズモ属の一種は St. 22 において2014年5月から11月にかけて、ミルは St. 30 において2015年3月に、ホンダワラ属の一種は St. 23 において2015年1月に確認された。

#### 3.3 小型甲殻類群集

調査期間を通して12種の小型甲殻類が採集された (Table 2)。各調査時における小型甲殻類種別の生物量を Table 3, Fig. 4 に示した。各調査時における小型甲殻類の平均生物量は、2014年5月に最大、11月に最少となる季節変化を示した。調査期間を通してみると、各月とも、トンガリドロクダムシが優占した。

#### 3.4 相関分析と小型甲殻類各種の分布

調査期間を通じた地点別の小型甲殻類生物量と海藻・海草の生物量との間に有意な正の相関が見られた (Fig. 5)。小型甲殻類と海藻・海草種の間を種別にみると (Table 4)、イソコツブムシ属の一種 (Fig. 6a)、ニホンドロソコエビ (Fig. 6b)、シミズメリタヨコエビ (Fig. 6c)、トンガリドロクダムシ (Fig. 6d)、ヒゲナガヨコエビ属の一種 (Fig. 6e) の5種とオゴノリとの間に有意な相関 (い

**Table 2.** List of animals, seaweeds and sea grass which were collected from the Moune wetland during the period from May 2014 to March 2015.

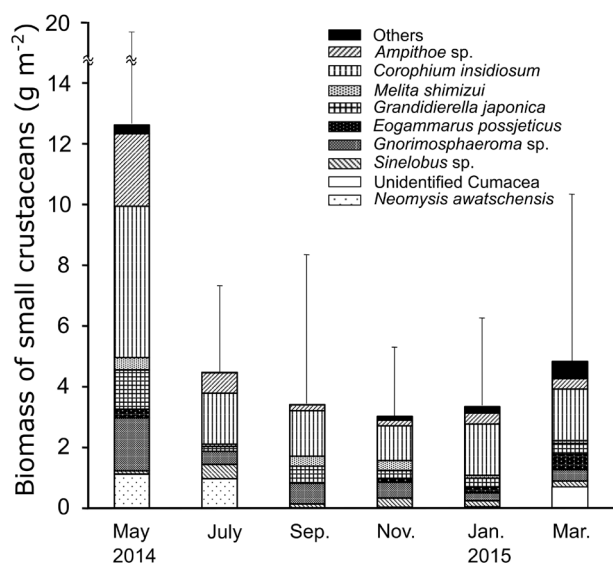
Animals	Species	Japanese name	Sampling tool
Seaweeds and sea grass			
Cladophorales	<i>Chaetomorpha</i> sp.	ジュズモ属の一種	Cover net
Caulerpales	<i>Codium fragile</i>	ミル	Cover net
Fucales	<i>Sargassum</i> sp.	ホンダワラ属の一種	Cover net
Ceramiales	<i>Centroceras distichum</i>	ゴノメグサ	Cover net
Gracilariales	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	オゴノリ	Cover net
Najadales	<i>Zostera japonica</i>	コアマモ	Cover net
Crustaceans			
Mysida	<i>Neomysis awatschensis</i>	イサザアミ	Cover net
Cumacea	unidentified Cumacea	クーマ目の一種	Cover net
Tanaidacea	<i>Sinelobus</i> sp.	シネロブス属の一種	Cover net
Isopoda	<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.	イソコツブムシ属の一種	Cover net
Amphipoda	<i>Paradexamine setigera</i>	ツルギトゲホホコエビ	Cover net
Amphipoda	<i>Platorchestia platensis</i>	ヒメハマトビムシ	Cover net
Amphipoda	<i>Eogammarus possjeticus</i>	ボシエットゲオヨコエビ	Cover net
Amphipoda	<i>Grandidierella japonica</i>	ニホンドロソコエビ	Cover net
Amphipoda	<i>Melita shimizui</i>	シミズメリタヨコエビ	Cover net
Amphipoda	<i>Corophium insidiosum</i>	トンガリドロクダムシ	Cover net
Amphipoda	<i>Ampithoe</i> sp.	ヒゲナガヨコエビ属の一種	Cover net
Amphipoda	<i>Pontogeneia</i> sp.	アゴナガヨコエビ属の一種	Cover net
Fish			
Perciformes	<i>Tridentiger obscurus</i>	チチブ	Spoon net
Perciformes	<i>Tridentiger brevispinis</i>	ヌマチチブ	Spoon net
Cypriniformes	<i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ	Surf Zone net
Mugiliformes	<i>Mugil cephalus</i>	ボラ	Spoon net & Surf Zone net
Perciformes	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	マハゼ	Gill net
Perciformes	<i>Girella punctate</i>	メジナ	Surf Zone net
Scorpaeniformes	<i>Platycephalus</i> sp.	マゴチ	Gill net

**Table 3.** The biomass (mean±SD, g m<sup>-2</sup>) of small crustaceans in the Moune wetland during the period from May 2014 to March 2015. Value shows mean±SD which were determined from 20 stations.

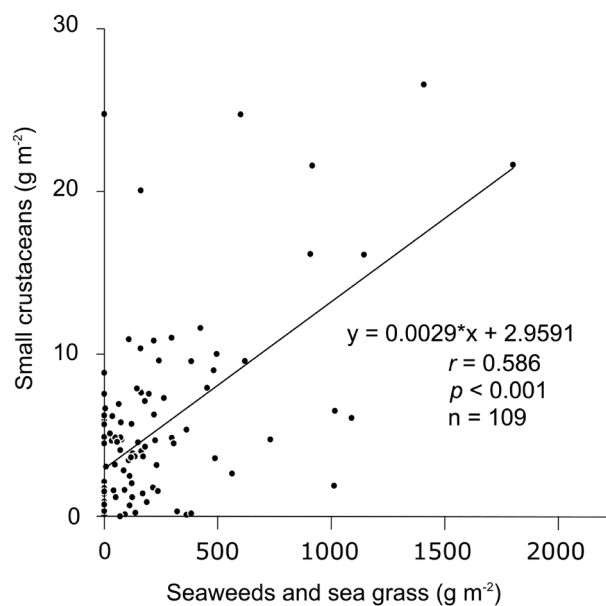
Species	May 2014	Jul	Sep	Nov	Jan 2015	Mar
<i>Neomysis awatschensis</i>	1.1±2.6	1.0±1.4	0.01±0.02	0	0.01±0.05	0.03±0.1
unidentified Cumacea	0	0	0	<0.01	<0.01	0.03±0.1
<i>Sinelobus</i> sp.	0.1±0.1	0.5±0.5	0.1±0.3	0.3±0.5	0.2±0.4	0.1±0.1
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.	1.7±2.5	0.4±0.6	0.7±0.9	0.5±0.8	0.3±0.8	0.6±1.1
<i>Paradaxamine setigera</i>	0	0	0	0	0.02±0.08	<0.01
<i>Eogammarus possjeticus</i>	0.3±0.6	0	0.01±0.01	0.1±0.3	0.2±0.6	0.5±0.8
<i>Platorchestia platensis</i>	0	0	0	0	0	0.05±0.01
<i>Grandidierella japonica</i>	1.3±1.7	0.2±0.2	0.6±0.9	0.3±0.3	0.3±0.6	0.8±1.7
<i>Melita shimizui</i>	0.4±0.5	0.1±0.1	0.3±0.6	0.3±0.5	0.1±0.2	0.3±0.4
<i>Corophium insidiosum</i>	5.0±3.1	1.7±2.0	1.5±2.6	1.2±1.6	1.7±2.0	2.4±2.6
<i>Ampithoe</i> sp.	2.4±2.4	0.7±0.7	0.2±0.3	0.2±0.3	0.4±0.4	0.4±0.6
<i>Pontogeneia</i> sp.	<0.01	0.01±0.04	0	0	0	0
Total (crustaceans)	12.3±7.4	4.5±2.8	3.4±4.8	2.9±2.7	3.3±2.8	5.2±5.4

**Table 4.** Relationship between the biomass of seaweeds and sea grass, and the biomass of small crustaceans during the period from May 2014 to March 2015. Value shows Pearson's correlation co-efficient (R). \*: P<0.05, \*\*:P<0.01.

	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	<i>Centroceras distichum</i>	<i>Zostera japonica</i>
<i>N. awatschensis</i>	0.137	0.227	0.155
Cumacea sp.	-0.087	-0.127	-0.144
<i>Sinelobus</i> sp.	0.097	0.757**	0.297
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.	0.503**	0.437*	0.102
<i>P. setigera</i>	-0.049	-0.067	-0.077
<i>P. platensis</i>	-0.066	-0.067	-0.077
<i>E. possjeticus</i>	0.167	0.136	-0.118
<i>G. japonica</i>	0.387**	0.128	-0.104
<i>M. shimizui</i>	0.488**	0.851**	-0.130
<i>C. insidiosum</i>	0.580**	0.096	-0.070
<i>Pontogeneia</i> sp.	-0.034	ND	-0.086
<i>Ampithoe</i> sp.	0.789**	0.819**	-0.138



**Fig. 4.** Seasonal fluctuations of the biomass (g m<sup>-2</sup>) of small crustaceans during the period from May 2014 to March 2015. Error bars are standard deviation.



**Fig. 5.** Correlation between the biomass of seaweeds and sea grass and the biomass of small crustaceans during the period from May 2014 to March 2015. Number of sample is 109.

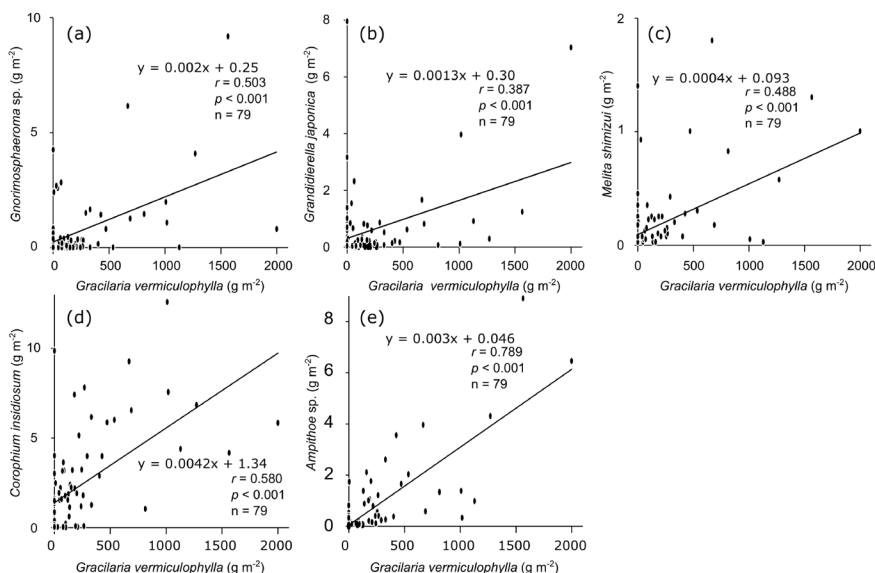


Fig. 6. Correlation between the biomass of *Gracilaria vermiculophylla* and the biomass of small crustaceans during the period from May 2014 to March 2015. Number of sample is 79.

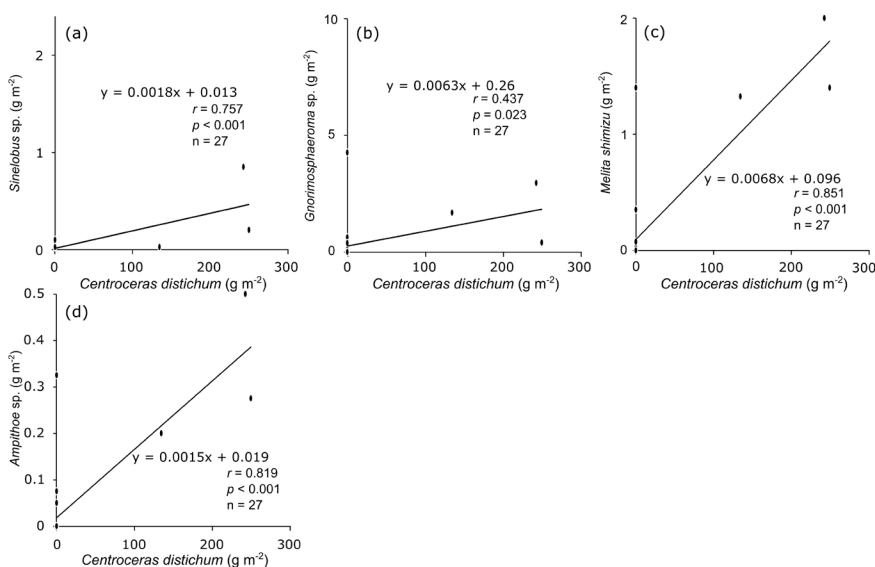


Fig. 7. Correlation between the biomass of *Centroceras distichum* and the biomass of small crustaceans during the period from May 2014 to March 2015. Number of sample is 27.

ずれも  $P < 0.001$ ) がみられた。また、シネロブス属の一種 (Fig. 7a:  $P < 0.001$ ), イソコツブムシ属の一種 (Fig. 7b:  $P = 0.02$ ), シミズメリタヨコエビ (Fig. 7c:  $P < 0.001$ ), ヒゲナガヨコエビ属の一種 (Fig. 7d:  $P < 0.001$ ) の4種とゴノメグサとの間に有意な相関があった。

オゴノリと相関がみられた小型甲殻類について、各調査月の分布パターンを比較したところ、2014年5月および7月調査時には小型甲殻類5種 (イソコツブムシ属の一種、ニホンドロソコエビ、シミズメリタヨコエビ、トンガリドロクダムシ、ヒゲナガヨコエビ属の一種) の生物量等値線のパターンはオゴノリ生物量のパターンと類似していた (Fig. 8-1b~f, h~l)。同様にオゴノリの分布パターンとよく似た例として、9月調査時におけるイソコツブムシ属の一種、トンガリドロクダムシ、ヒゲナガヨコエビ属の一種 (Fig. 8-1n, q, r), 11月調査時におけるニホンドロソコエビ、シミズメリタヨコエビ、トンガリドロクダムシ、ヒゲナガヨコエビ属の一種 (Fig. 8-2c~

f), 3月調査時におけるヒゲナガヨコエビ属の一種があげられる (Fig. 8-2r)。

ゴノメグサと相関がみられた小型甲殻類では、2014年9月と11月調査時には小型甲殻類4種 (シネロブス属の一種、イソコツブムシ属の一種、シミズメリタヨコエビ、ヒゲナガヨコエビ属の一種) の生物量等値線のパターンがゴノメグサ生物量のパターンと類似していた (Fig. 9b~e, g~j)。同様にゴノメグサの分布パターンとよく一致した例として、翌1月調査時におけるシミズメリタヨコエビ (Fig. 9n), 3月調査時におけるシネロブス属の一種、ヒゲナガヨコエビ属の一種があげられる (Fig. 9q, t)。

### 3.5 海藻・海草上の食痕およびの棲管確認

海藻・海草の葉体上に動物による食痕を確認することはできなかった。一方、オゴノリの藻体上に棲管が多数附着しており、その内部にトンガリドロクダムシ *Corophium insidiosum* を確認した。

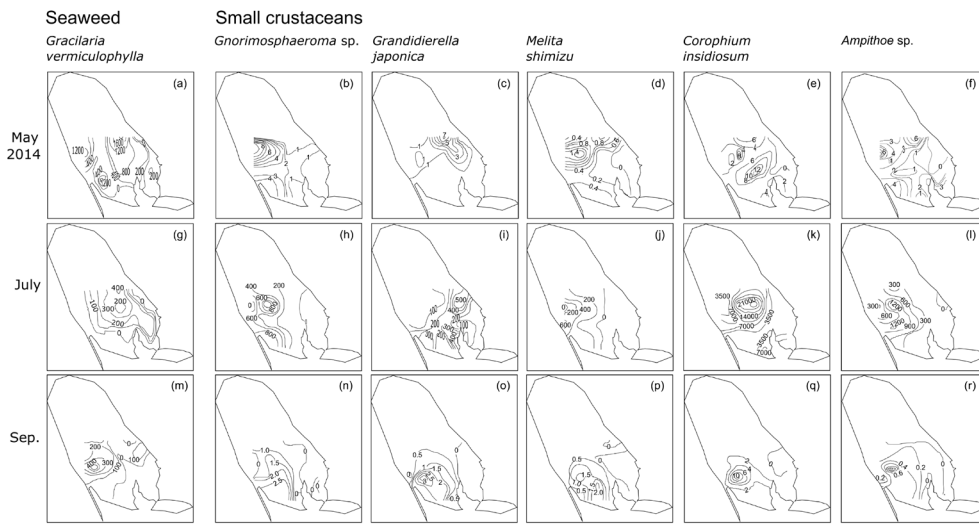


Fig. 8-1. Isopleths of the biomass (wet weight:  $\text{g m}^{-2}$ ) of *Gracilaria vermiculophylla* and five species of small crustaceans which had the significant correlation with *Gracilaria vermiculophylla* during the period from May 2014 to September 2014.

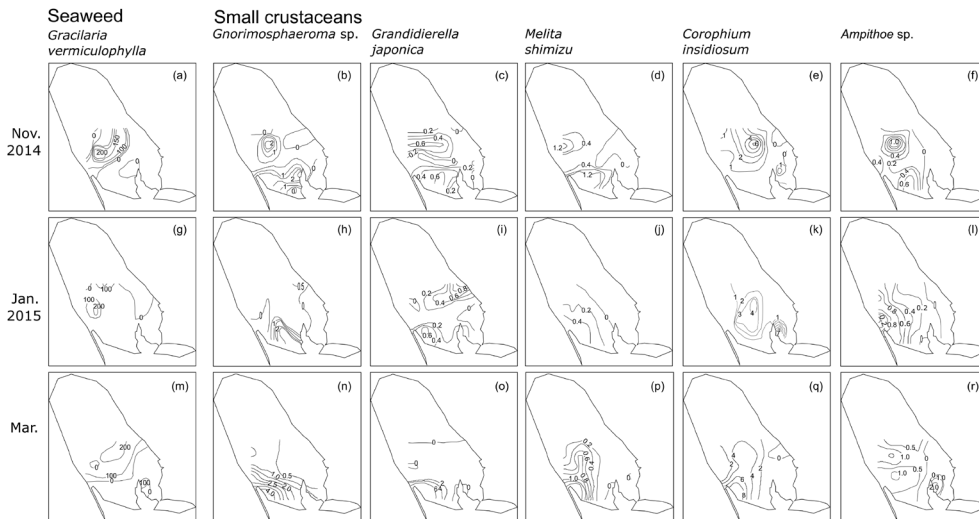


Fig. 8-2. Isopleths of the biomass (wet weight:  $\text{g m}^{-2}$ ) of *Gracilaria vermiculophylla* and five species of small crustaceans which had the significant correlation with *Gracilaria vermiculophylla* during the period from November 2014 to March 2015.

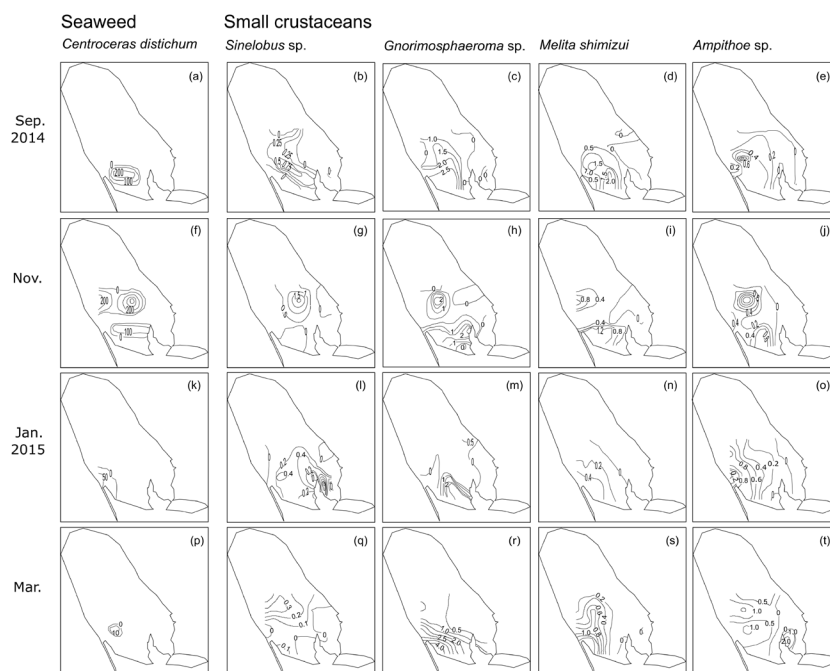


Fig. 9. Isopleths of the biomass (wet weight:  $\text{g m}^{-2}$ ) of *Centrocercus distichum* and four species of small crustaceans which had the significant correlation with *Centrocercus distichum* during the period from September 2014 to March 2015.

**Table 5.** Stable carbon and nitrogen isotopic ratios ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ : mean $\pm$ SD) of animals and possible food sources in the Moune wetland. n: number of samples. 1) See text.

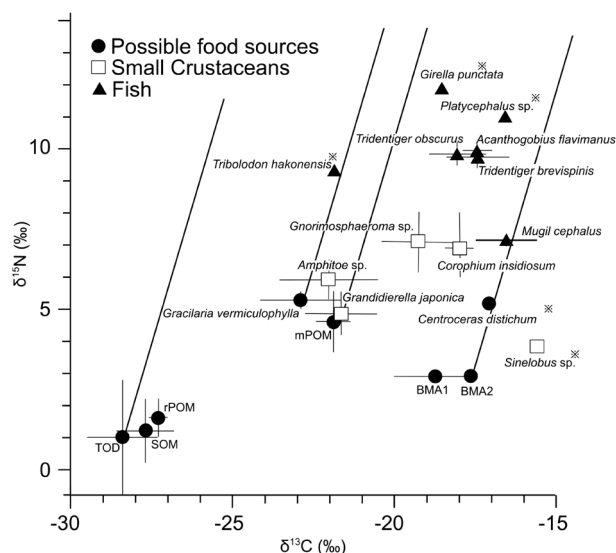
Species	Tissue	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n
Possible food sources				
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>		-22.9 $\pm$ 1.3	5.3 $\pm$ 0.3	24
<i>Centroceras distichum</i>		-17.1	5.1	1
rPOM (riverine particulate organic matter)		-27.3 $\pm$ 0.6	1.6 $\pm$ 0.3	4
TOD (terrestrial organic debris)		-28.4 $\pm$ 1.1	1.0 $\pm$ 1.8	4
SOM (sedimentary organic matter)		-27.7 $\pm$ 0.9	1.2 $\pm$ 1.0	64
BMA1 <sup>1)</sup>		-18.7 $\pm$ 1.3	2.9 $\pm$ 0.1	3
BMA2 <sup>1)</sup>		-17.6	2.9	
mPOM (marine particulate organic matter)		-21.9 $\pm$ 0.5	4.6 $\pm$ 1.0	3
Animals				
<i>Sinelobus</i> sp.	Whole body	-15.6	3.8	2
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.	Muscle	-19.2 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 0.9	13
	Whole body	-14.3 $\pm$ 2.4	2.4 $\pm$ 0.5	6
<i>Eogammarus possjeticus</i>	Muscle	-22.9	7.0	1
	Whole body	-23.0	3.7	1
<i>Grandidierella japonica</i>	Muscle	-21.6 $\pm$ 1.1	4.9 $\pm$ 0.7	5
	Whole body	-21.4	2.7	1
<i>Corophium insidiosum</i>	Whole body	-18.0 $\pm$ 0.4	6.9 $\pm$ 1.1	9
<i>Ampithoe</i> sp.	Muscle	-22.0 $\pm$ 1.5	5.9 $\pm$ 0.6	11
	Whole body	-18.7 $\pm$ 1.9	4.8 $\pm$ 0.4	7
<i>Palaemon paucidens</i>	Muscle	-18.2 $\pm$ 1.0	9.7 $\pm$ 0.6	4
<i>Tridentiger obscurus</i>	Muscle	-18.0 $\pm$ 0.9	9.8 $\pm$ 0.4	3
<i>Tridentiger brevispinis</i>	Muscle	-17.4 $\pm$ 1.0	9.8 $\pm$ 0.4	13
<i>Tribolodon hakonensis</i>	Muscle	-21.8	9.4	1
<i>Mugil cephalus</i>	Muscle	-16.5 $\pm$ 1.0	7.1 $\pm$ 0.2	3
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	Muscle	-17.4 $\pm$ 0.5	9.9 $\pm$ 0.2	10
<i>Girella punctata</i>	Muscle	-18.5	11.9	2
<i>Platycephalus</i> sp.	Muscle	-16.5	11.0	1

### 3.6 安定同位体比分析と消化管内容物分析

湿地における小型甲殻類、小型甲殻類の食物源となりうる有機物および湿地内で採集された魚類の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ をTable 5およびFig. 10に示した。

小型甲殻類の食物源有機物のうち、陸起源有機物に含まれるrPOM、TODおよびSOMの $\delta^{13}\text{C}$ 平均値は-28.4‰~-27.3‰の範囲、 $\delta^{15}\text{N}$ 平均値は1.0‰~1.6‰の範囲にあり、いずれも低い値を示した。海洋性植物プランクトンを示すmPOMの $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ はそれぞれ、-21.9 $\pm$ 0.5‰、4.6 $\pm$ 1.0‰であった。一方、mPOMの同位体比値と比べ、オゴノリの $\delta^{13}\text{C}$ は-22.9 $\pm$ 1.3‰とやや低く、 $\delta^{15}\text{N}$ は5.3 $\pm$ 0.3‰とやや高かった。ゴノメグサの $\delta^{15}\text{N}$ は5.1‰とオゴノリと同レベルの値であったが、 $\delta^{13}\text{C}$ は-17.1‰とオゴノリよりかなり高かった。本湿地における底生微細藻の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は-18.5 $\pm$ 1.3‰、2.9 $\pm$ 0.1‰ (Table 5, BMA1; 熊谷洋一郎未発表データ)、ホソウミニナより推定した底生微細藻の値はそれぞれ17.6‰、2.9‰であり (Table 5, BMA2; 熊谷洋一郎未発表データ) とともに類似した値であった。

イソコツブムシ属の一種とヒゲナガヨコエビ属の一種の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を、体全体と筋肉間で比較すると、 $\delta^{13}\text{C}$ は体全体の値の方が有意に高く (t検定; それぞれ $P=0.005, 0.004$ )、 $\delta^{15}\text{N}$ は筋肉の値の方が有意に高かった (t検定;  $P<0.001$ )。ニホンドロソコエビは、試料数が少なく統計的に検定することができなかったが、同様の



**Fig. 10.** Trophic structure of the Moune wetland ecosystem, shown as a dual isotope plot of  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  (‰). Isotopic compositions of BMA1 and 2 (benthic microalgae) were from Y. Kumagai (pers. com.). Error bars are standard deviation (\*: number of sample is less than three, resulting in no error bar). See Table 5 for abbreviations of organic matter and animals in the plot.



傾向を示した。本研究における甲殻類の分析では、 $\delta^{15}\text{N}$ が低いキチンの影響を避けるため、原則として筋肉を試料とした安定同位体比データを餌料解析に使用した。

オゴノリの生物量と相関がみられ、分布パターンがオゴノリと類似したイソコツブムシ属の一種、トンガリドロクダムシ、ニホンドロソコエビ、ヒゲナガヨコエビ属の一種のうち、前2者の $\delta^{13}\text{C}$ 平均値はオゴノリの $\delta^{13}\text{C}$ とは異なっていた。また、両種の $\delta^{15}\text{N}$ 平均値（それぞれ6.9%, 7.1%）から推定される餌料の $\delta^{15}\text{N}$ 推定値（ $^{15}\text{N}$ 濃縮係数に一般値3.4%を適用、以下同様）も、オゴノリの $\delta^{15}\text{N}$ 値5.3%とは大きく異なっていた。ニホンドロソコエビ、ヒゲナガヨコエビ属の一種の餌料と推定される $\delta^{13}\text{C}$ 平均値は、オゴノリの値に近かったが、両種の $\delta^{15}\text{N}$ 平均値から推定される餌料の $\delta^{15}\text{N}$ はオゴノリの値とは大きく異なっていた。ゴノメグサ生物量と相関がみられたシネロブス属の一種、イソコツブムシ属の一種、ヒゲナガヨコエビ属の一種のうち、後2者の $\delta^{13}\text{C}$ 平均値はゴノメグサの $\delta^{13}\text{C}$ 値とは大きく異なっており、両種の餌料の $\delta^{15}\text{N}$ 推定値もゴノメグサの $\delta^{15}\text{N}$ 値とは大きく異なっていた。他方、シネロブス属の一種の餌料推定値も、ゴノメグサの $\delta^{15}\text{N}$ とは大きく異なった。なお、端脚類のシミズメリタヨコエビは同位体比分析試料の採集時には採集されなかった。

湿地内で採集した魚類のうち、チチブ *Tridentiger obscurus*、ヌマチチブ *Tridentiger brevispinis*、ウグイ *Tribolodon hakonensis*、ボラ *Mugil cephalus*、マハゼ *Acanthogobius flavimanus*、メジナ *Girella punctate*、マゴチ *Platycephalus* sp.、について安定同位体を分析した。これらのうち、淡水魚のウグイおよび $\delta^{15}\text{N}$ が7.1%と低いボラを除く5種の $\delta^{13}\text{C}$ は-18.5~-16.5%、 $\delta^{15}\text{N}$ は11.9~9.7%の範囲にあった。

魚類種ごとの消化管内容物を Table 6 に示した。チチブからはイソコツブムシ属の一種とトンガリドロクダムシが、ヌマチチブからは上記に加えヒゲナガヨコエビ属の一種が確認された。マハゼからは、イサザアミ属の一種 *Neomysis* sp.、*Capitella* 属の一種 *Capitella* sp.、トンガリドロクダムシ、多毛類 *Polychaeta* spp.、貧毛類の一種

**Table 6.** Contents of digestive tract of fish collected from the Mouné wetland in September 2015.

Species	Contents of digestive tract
<i>Tridentiger obscurus</i>	<i>Gnorimosphaeroma</i> sp. (larvae) <i>Corophium insidiosum</i>
<i>Tridentiger brevispinis</i>	<i>Gnorimosphaeroma</i> sp. (larvae and adult) <i>Corophium insidiosum</i> <i>Ampithoe</i> sp.
<i>Tribolodon hakonensis</i>	No contents
<i>Mugil cephalus</i>	Diatom
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	<i>Neomysis</i> sp. <i>Capitella</i> sp. <i>Corophium insidiosum</i> <i>Polychaeta</i> spp. <i>Oligochaeta</i> sp. Chironomidae spp. (larvae)
<i>Girella punctate</i>	Copepoda spp. <i>Neomysis</i> sp.
<i>Platycephalus</i> sp.	Unidentified bone

*Oligochaeta* sp. およびユスリカ幼虫 Chironomidae spp.、メジナからはカイアシ類 Copepoda spp. とイサザアミ属の一種が出現した、ボラからは小型甲殻類は確認されず、珪藻類を含むデトリタス状の物質が認められた。しかし、珪藻類以外のデトリタス状物質については同定が困難であった。マゴチからは魚類の脊椎骨が確認された。

#### 4. 考察

本湿地で最も生物量が多く優占したオゴノリは、バラスト水などを介して世界中に拡大している北東アジア原産の外来種であり (Hu and Juan 2014)、その生理学的特徴として広塩性であり、紫外線耐性を有するとともに光量が少ない条件においても生育可能で (Jensen et al. 2007)、塩性湿地や干潟へも侵入する (Hu and Juan 2014)。このような特徴を有することにより、新たに誕生した舞根地区の塩性湿地においても、遷移の初期段階に本種が出現し増殖したと考えられる。

オゴノリおよびゴノメグサと小型甲殻類 (シネロブス属の一種、イソコツブムシ属の一種、ニホンドロソコエビ、シミズメリタヨコエビ、トンガリドロクダムシ、ヒゲナガヨコエビ属の一種) の生物量との間に有意な正の相関がみられ、コアマモの生物量との間には有意な相関はみられなかった。端脚類を含む表在性動物の密度は海藻を生息場所とする場合に比べて海草群落や裸地で少ないことが報告されている (Tuya et al. 2014, 山本ら 1999)。Gartner et al. (2013) は端脚類の生息する基質の構造的な違いが生息密度を決定し、複雑な構造の基質において端脚類の密度が高いことを示した。本研究で採集されたオゴノリは枝分かれが多く、ゴノメグサは藻体同士が互いに絡み合い複雑な構造を有する。一方、コアマモは葉体が直線的で枝分かれない単純な構造であり、このような構造的な差異により、コアマモ生物量と小型甲殻類生物量との間に相関が見られなかった可能性が考えられる。

オゴノリの生物量と相関のみられた小型甲殻類5種のうち安定同位体比分析ができなかったシミズメリタヨコエビを除く4種 (イソコツブムシ属の一種、ニホンドロソコエビ、トンガリドロクダムシ、ヒゲナガヨコエビ属の一種) の餌料の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 推定値がオゴノリとは異なることから、これらの小型甲殻類はオゴノリを主な餌料としていないと推定される。同様に、ゴノメグサ生物量と相関のみられたシネロブス属の一種、イソコツブムシ属の一種、ヒゲナガヨコエビ属の一種についても、推定される餌料の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値がゴノメグサと異なることから、この3種の小型甲殻類はゴノメグサを主な餌料としていないと考えられる。しかし、陸上植物では、生体と腐敗したもので炭素・窒素安定同位体比が異なることが報告されている (Cloern et al. 2002)。本研究では、腐敗した海藻の炭素・窒素安定同位体比を測定していないが、海藻が腐敗することで炭素・窒素安定同位体比が変化し、小型甲殻類がそれを摂餌している可能性は否定できない。

本湿地において海藻の生物量と有意な相関がみられた小型甲殻類6種のうち、シミズメリタヨコエビを除く5種の餌料を安定同位体比測定法により推定した (Fig. 10)。ヒゲナガヨコエビ属の一種、ニホンドロソコエビ

の餌料の $\delta^{13}\text{C}$ 推定値(それぞれ,  $-23.0\text{‰}$ ,  $-22.6\text{‰}$ )および $\delta^{15}\text{N}$ 推定値( $2.5\text{‰}$ ,  $1.5\text{‰}$ )は陸起源有機物と底生微細藻の値の中間に位置したことから, 両有機物の混合物を餌料としている可能性が高い。同様に, イソコツブムシ属の一種, トンガリドロクダムシの餌料の $\delta^{13}\text{C}$ 推定値(それぞれ,  $-20.2\text{‰}$ ,  $-19.0\text{‰}$ )および $\delta^{15}\text{N}$ 推定値( $3.7\text{‰}$ ,  $3.5\text{‰}$ )は海洋性植物プランクトンと底生微細藻の値の中間に位置したことから, 両有機物の混合物を餌料としている可能性が高い。一方, オゴノリの $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 値(それぞれ,  $-22.9\text{‰}$ ,  $5.3\text{‰}$ )は海洋性植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 値( $-21.9\text{‰}$ ,  $4.6\text{‰}$ )に近く, 安定同位体比分析法からは, これらの小型甲殻類がオゴノリを餌料とした可能性を否定できないが, 調査時の観察から小型甲殻類がオゴノリを直接, 摂餌する可能性は低いと考えられた。ゴノメグサの生物量と相関があったシネロプス属の一種の餌料推定値( $\delta^{13}\text{C}=-16.6\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}=0.4\text{‰}$ )に相当する有機物は今回の調査では採集されなかった。本種は解剖が困難であったため, 体全体を試料として $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 分析値を得た。他の甲殻類の分析では筋肉を試料とした。筋肉と体全体間でみられた $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ の差と濃縮係数一般値から, 筋肉を試料とした場合のシネロプス属の一種の餌料の $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ を推定すると, それぞれ $-17.3\text{‰}$ ,  $2.9\text{‰}$ となる。この値は底生微細藻の値に近いことから, 本種は底生微細藻に依存している可能性が示された。

海藻・海草の存在は, 端脚類に繁殖や摂餌場を提供している(Akins and Kikuchi 2001)ことが知られている。本湿地において, トンガリドロクダムシはオゴノリ上に棲管を作り, ヒゲナガヨコエビ属の一種, イソコツブムシ属の一種についても, オゴノリやゴノメグサ藻体の三次元的な構造を生息場所として利用し, オゴノリ・ゴノメグサ以外の餌を効率的に摂餌して高い生物量を維持していると考えられる。シミズメリタヨコエビについては, 安定同位体比を分析できず, 本手法を用いた食物源の推定はできなかった。本種は自由生活種であり(Akins and Kikuchi 2001), 棲管は海藻上にみられなかったが, 本種もオゴノリやゴノメグサの複雑な構造を生息場所として利用していることが推察された。

ウグイの幼魚, メジナの幼魚, マハゼ, マゴチなどの水産重要種も本湿地を利用しており, トンガリドロクダムシやイサザアミ属の一種を摂餌していることが確認された。他方, 安定同位体比分析により, チチブ, ヌマチチブ, マハゼ, メジナを含む魚類は, 海洋性植物プランクトンと底生微細藻類を主な生産者, 湿地内の小型甲殻類を一次消費者とする食物連鎖上の二次消費者として位置づけられた。また, マゴチの消化管より脊椎骨が確認され, 本種の $\delta^{15}\text{N}$ が $11.0\text{‰}$ と他の魚類より高かったことから, 二次消費者より高い栄養段階に位置すると考えられる。このように, 本湿地は水産有用種を含む魚類の摂餌場としての機能を有し, 一次生産者から一次消費者の小型甲殻類を経て二次消費者である魚類へという食物連鎖が形成されており, 海藻は小型甲殻類に生息場所を提供することで, 水産有用種の増殖に貢献しているといえ, この観点からも本湿地の保全は重要と考えられる。

舞根の住民と本湿地を所有するNPO法人「森は海の恋人」は, 本湿地を保全し, 環境教育のフィールドとして利用することを検討している。本研究により, 湿地の海藻・海草が湿地生態系の中で重要な役割を果たしてい

ることが明らかになり, 地震によって誕生した塩性湿地が環境教育の場となりうることが分かった。

## 謝辞

本研究を行うにあたり, 京都大学農学研究科中山耕至助教, 地球環境学舎熊谷洋一郎氏には調査のサポートを, 大阪自然史博物館の有山啓之氏からは端脚類の同定, 東北大学の遠藤光助教には海藻・海草の同定をご指導頂きました。厚く御礼申し上げます。また, 塩性湿地の測量をしてくださった首都大学東京都市基盤研究コース水工学研究室の方々, NPO法人「森は海の恋人」の畠山信副理事長はじめスタッフの方々, 気仙沼舞根湾調査グループの方々, 炭素・窒素安定同位体比分析を行った京都大学生態学研究センターの方々, また貴重なご意見を賜りました二名の匿名査読者に感謝申し上げます。

## 引用文献

- Aikins, S. and Kikuchi, E. (2001). Studies on habitat selection by amphipods using artificial substrates within an estuarine environment. *Hydrobiologia*, 457, 77–86.
- Cloern, J. E., Canuel, E. A. and Harris, D. (2002). Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnol. Oceanogr.*, 47, 713–772.
- Deniro, M. J. and Epstein, S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotope in animal. *Geochim Cosmochim Acta*, 42, 495–506.
- 土井健太郎 (2000). 港湾環境整備事業の現状と今後の課題. *環境技術* 2(91): 55–59.
- Gartner, A., Tuya, F., Lavery, P. S. and McMahon, K. (2013). Habitat preferences of macroinvertebrate fauna among seagrasses with varying structural forms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 439, 143–151.
- Hu, Z. M. and Juan, L. B. (2014). Adaptation mechanisms and ecological consequences of seaweed invasions: a review case of agrophyte *Gracilaria vermiculophylla*. *Biol. Invasions*, 16, 967–976.
- Huh, S. H. and Kitting, C. L. (1985). Trophic relationship among concentrated populations of small fishes in seagrass meadows. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 92, 29–43.
- Jensen, A. T., Uldahl, A. G., Sjøgren, K. P. and Khan, M. (2007). The invasive macroalgae *Gracilaria vermiculophylla* Effects of Salinity, Nitrogen availability, Irradiance and Grazing on the growth rate. Master thesis, Department of Environmental, Social and Spatial Change, Roskilde University, Denmark.
- 金谷 弦・鈴木孝男・牧 秀明・中村泰男・宮島祐一・菊池永佑 (2012). 2011年巨大津波が宮城県蒲生潟の地形, 植生および底生動物相に及ぼした影響. *日本ベントス学会誌* 67: 20–32.
- Kevrekidis, T. (2004). Population dynamics, growth and reproduction of *Corophium insidiosum* (Crustacea: Amphipoda) at low salinities in Monolimni lagoon (Evros Delta, North Aegean Sea). *Hydrobiologia*, 522, 117–132.
- 国立公園協会 (2012). 東日本大震災による東北地方太平洋沿岸域の重要湿地の被害概要調査.
- 水産庁 (2015). *水産白書*. 213 p. 一般財団法人 農林統計協会.
- 田中 克 (2012). 気仙沼舞根湾調査の目的と課題. *海洋と生*

- 物 34: 514–523.
- Tuya, F., Png-Gonzalez, L., Riera, R., Haroun, R. and Espino, F. (2014). Ecological structure and function differs between habitats dominated by seagrasses and green seaweeds. *Mar. Environ. Res.*, 98, 1–13.
- 山本智子・濱口晶巳・吉川浩二・寺脇利信 (1999). 植生の異なる実験藻場における生物群集の決定要因. *水産工学* 36: 1–10.
- Yokoyama, H. and Ishihi, Y. (2003). Feeding of the bivalve *Theora lubrica* on benthic microalgae: isotopic evidence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 255, 303–309.
- Zanden, M. J. V. and Rasmussen, J. B. (1999). Primary Consumer  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and the Trophic Position of Aquatic Consumers. *Ecology*, 80, 1395–1404.